

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЗОТСОДЕРЖАЩЕГО ИНГИБИТОРА НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Н.П. Румянцева, В.С. Белова, А.В. Балмасов

Наталья Павловна Румянцева, Валерия Сергеевна Белова, Анатолий Викторович Балмасов*

Кафедра технологии электрохимических производств, Ивановский государственный химико-технологический университет, просп. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: np0920@yandex.ru, valeria_bel@mail.ru, balmasov@isuct.ru*

В статье рассмотрено влияние азотсодержащей ингибирующей добавки на показатели коррозии конструкционных сталей (Сталь 20, 30ХГСА, 40ХН2МА, 18Х2Н4ВА). Эффективность ингибитора исследовалась путем проведения коррозионных испытаний в растворе 3% хлорида натрия с помощью гравиметрических и электрохимических методов. Результаты определения плотности тока и потенциала коррозии свидетельствуют о торможении коррозионного процесса после обработки поверхности сталей в эмульсии смазочно-охлаждающей жидкости, используемой для механической обработки деталей. Введение в состав эмульсии добавки гетероциклического азотсодержащего соединения способствует пассивации поверхности и усилению ингибирующего эффекта. Благодаря введению добавки для углеродистой стали 20 удается снизить плотность тока коррозии в 2,5 раза по сравнению с механически обработанными образцами и в 1,6 раза по сравнению с образцами, обработанными в эмульсии смазочно-охлаждающей жидкости без добавок. После выдержки исследованных сталей в растворе 3% хлорида натрия в поверхностном слое наблюдается уменьшение содержания железа и увеличение содержания кислорода, для легированных сталей имеет место обогащение поверхности хромом. Результаты гравиметрических исследований свидетельствуют о том, что после обработки образцов в 3 % эмульсии смазочно-охлаждающей жидкости с добавкой азотсодержащего соединения потери массы сокращаются для сталей 20 и 18Х2Н4ВА почти в 2,5 раза, 30ХГСА – в 1,7 раза, 40ХН2МА – в 1,3 раза по сравнению с образцами после механической обработки. Применение ингибитора обеспечивает увеличение продолжительности межоперационного хранения после механической обработки деталей, изготовленных из исследованных конструкционных сталей.

Ключевые слова: конструкционные стали, коррозионные процессы, смазочно-охлаждающая жидкость, ингибиторы коррозии

INVESTIGATION OF INHIBITOR INFLUENCE ON CORROSION BEHAVIOR OF STRUCTURAL STEELS

N.P. Rumyantseva, V.S. Belova, A.V. Balmasov

Natalya P. Rumyantseva, Valeriya S. Belova, Anatoliy V. Balmasov*

Department of Technology of Electrochemical Production, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetevskiy ave., 7, Ivanovo, 153000, Russia

E-mail: np0920@yandex.ru, valeria_bel@mail.ru, balmasov@isuct.ru*

The article considers the effect of a nitrogen-containing inhibitory additive on the corrosion indicators of structural steels (Steel 20, 30ХГСА, 40ХН2МА, 18Х2Н4ВА). The effectiveness of the inhibitor was studied by conducting corrosion tests in a solution of 3% sodium chloride using gravimetric and electrochemical methods. The results of determining the current density and corrosion potential testify to the inhibition of the corrosion process after surface treatment of steels in an emulsion of cutting fluid used for machining parts. The introduction of a heterocyclic nitrogen-containing compound into the emulsion promotes surface passivation and enhances the inhibitory effect. Due to the introduction of additives for carbon steel 20, it is possible to reduce the corrosion

current density by 2.5 times compared to machined samples and by 1.6 times compared to samples processed in an emulsion of cutting fluid without additives. After holding the studied steels in a solution of 3% sodium chloride a decrease in the iron content and an increase in the oxygen content are observed in the surface layer. For alloyed steels the surface is enriched with chromium. The results of gravimetric studies indicate that after processing the samples in a 3% emulsion of cutting fluid with the addition of a nitrogen-containing compound, the mass loss is reduced by almost 2.5 times for steels 20 and 18X2H4BA, by 1.7 times in 30ХГСА, and by 1.3 times in 40ХН2МА compared with samples after machining. The use of an inhibitor provides an increase in the duration of interoperational storage after machining of parts made from the investigated structural steels.

Key words: structural steels, corrosion processes, cutting fluid, corrosion inhibitors

Для цитирования:

Румянцева Н.П., Белова В.С., Балмасов А.В. Исследование влияния азотсодержащего ингибитора на коррозионную стойкость конструкционных сталей. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 11. С. 65–70

For citation:

Rumyantseva N.P., Belova V.S., Balmasov A.V. Investigation of inhibitor influence on corrosion behavior of structural steels. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [Russ. J. Chem. & Chem. Tech.]. 2020. V. 63. N 11. P. 65–70

ВВЕДЕНИЕ

Коррозия металлов – самопроизвольное разрушение вследствие химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой [1]. В России ежегодные потери металлов из-за коррозии составляют до 30% от производимого металла [2]. Коррозионным разрушениям подвержены все металлические изделия [3].

Одним из наиболее эффективных методов борьбы с коррозией является использование ингибиторов [4]. Основной упор в их разработке делается на универсальность, применение с широким спектром материалов, безопасность для человека и окружающей среды [5-11].

Большинство исследований в области создания новых ингибиторов направлено на разработку составов, тормозящих процесс коррозии сталей, являющихся одним из основных конструктивных материалов [12-14]. По назначению стали классифицируют на конструкционные, инструментальные и коррозионностойкие. Конструкционные стали представляют собой наиболее обширную группу, предназначенную для изготовления строительных сооружений, деталей машин и приборов. Углеродистые стали являются наиболее распространенными металлами, используемыми в различных отраслях современной промышленности. Существенным недостатком конструкционных углеродистых и низколегированных сталей является их низкая коррозионная стойкость [15]. Для типовых конструкционных сталей без защиты скорость коррозии составляет 0,2-0,5 мм/год для средних климатических условий России. Однако в неблагоприятных условиях (побережье моря, контакт с реагентами для борьбы с гололедом) скорость коррозии

может вырасти на порядок. Атмосферная коррозия является одним из наиболее распространенных видов коррозионного разрушения металлов, поэтому разработке средств и способов защиты от нее уделяется большое внимание [16].

Целью настоящей работы было исследование влияния ингибирующих добавок на коррозионное поведение конструкционных сталей – качественной углеродистой стали 20 и сталей 30ХГСА, 40ХН2МА, 18Х2Н4ВА, легированных хромом, никелем, марганцем, вольфрамом.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Эффективность ингибитора исследовали с помощью гравиметрических и электрохимических методов [17, 18].

Для электрохимических исследований в качестве рабочих электродов использовали стержни из сталей 20, 30ХГСА, 40ХН2МА, 18Х2Н4ВА диаметром 6 мм с изолированной боковой поверхностью. Для оценки коррозионного поведения сталей изучали изменение бестоковых потенциалов стальных электродов в 3% растворе NaCl, а также снимали потенциодинамические поляризационные кривые с помощью потенциостата Р-30J. Возможность использования метода поляризационных измерений для качественной оценки ингибирующей способности замедлителей коррозии показана в [19, 20]. Исследования проводили до и после обработки в эмульсии СОЖ Rosneft Emultec 2040. В качестве ингибирующей добавки, вводимой в СОЖ, использовали гетероциклическое азотсодержащее соединение – аминопроизводное симметричного триамина. Эффективность использования азотсодержащих соединений для торможения коррозионных процессов показана в [4, 14, 16, 17, 21-23]. На

основании полученных результатов строили поляризационные диаграммы в полулогарифмических координатах, из которых определяли коррозионный ток и потенциал [21, 24].

Для гравиметрических исследований использовали образцы в виде цилиндров диаметром 6 мм, высотой 3 мм, которые зачищали наждачной бумагой, обезжиривали этиловым спиртом и взвешивали на аналитических весах ВЛР-200 с точностью 0,0001 г. Одну партию образцов каждой стали больше не подвергали никакой обработке, вторую выдерживали 10 мин в 3% эмульсии СОЖ Rosneft Emultec 2040, третью – в 3% эмульсии СОЖ с добавкой азотсодержащего гетероциклического соединения. Образцы высушивали на воздухе, после чего помещали на 48 ч в 3% раствор NaCl, $t = 25^\circ\text{C}$. Эффективность ингибитора оценивали по потере массы, из которой рассчитывали отрицательный показатель убыли массы по формуле:

$$K_m^- = (m_0 - m_1)/(St),$$

где m_0 и m_1 – масса образца до и после коррозии, г, S – площадь поверхности образца, τ – продолжительность испытаний.

Состояние поверхности сталей и состав продуктов коррозии исследовали с помощью электронного микроскопа Tescan Vega 3 SBH с приставкой для энергодисперсионного анализа химического состава.

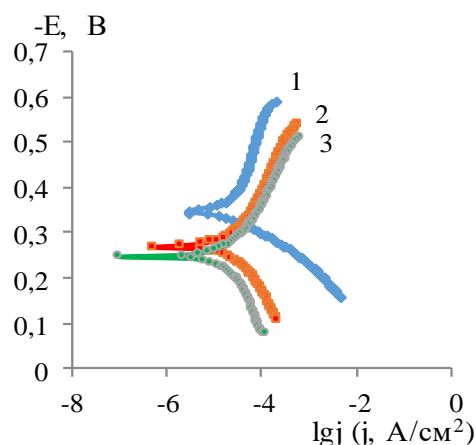
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При механической обработке металлов происходит активация поверхности, что способствует ускорению коррозионных процессов даже в условиях межоперационного хранения деталей. Применяемые при изготовлении деталей смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) обычно содержат ингибиторы коррозии, однако они не всегда обеспечивают надежную защиту сталей при контакте с цеховой атмосферой. Поэтому основная задача исследования состояла в повышении коррозионной стойкости конструкционных сталей после механической обработки путем введения ингибирующей добавки в состав СОЖ.

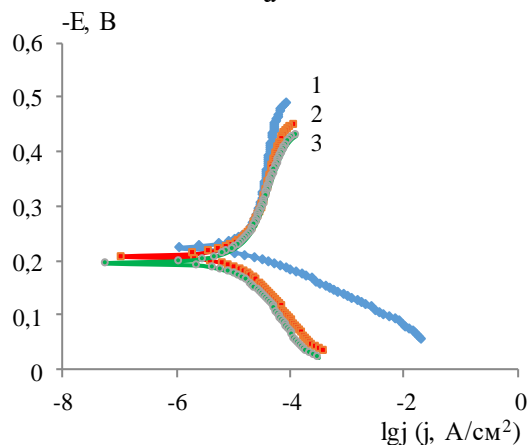
В ходе электрохимических исследований было установлено, что при выдержке стальных электродов в растворе хлорида натрия без внешней поляризации независимо от способа обработки поверхности имеет место смещение потенциалов в область отрицательных значений при увеличении продолжительности контакта образцов с раствором NaCl. Это связано с высокой агрессивностью хлорид-ионов по отношению к оксидным слоям,

образующимся на поверхности стальных электродов при их контакте с воздухом.

Было установлено, что для всех исследованных сталей наблюдается смещение поляризационных диаграмм в область более положительных потенциалов после обработки электродов в СОЖ, которое усиливается при введении в состав эмульсии ингибирующей добавки (рис. 1). Этот эффект более выражен для нелегированной углеродистой стали 20, что обусловлено ее меньшей коррозионной стойкостью. Следует отметить, что введение ингибитора в большей степени способствует торможению катодной стадии коррозионного процесса.



a



б

Рис. 1. Поляризационные диаграммы для электродов из конструкционной стали 20 (а) и 18Х2Н4ВА (б) в растворе NaCl 3%: 1 – после механической обработки; 2 – после выдержки в 3% эмульсии СОЖ; 3 – после выдержки в 3% эмульсии СОЖ с добавкой 1 г/л азотсодержащего ингибитора. $t=25^\circ\text{C}$

Fig. 1. Polarization diagrams for construction electrodes steel 20 (a) and 18X2H4BA (б) in 3% NaCl: 1 – after mechanical treatment; 2 – after storage in СОЖ 3% emulsion; 3 – same as (2), but with addition of 1 g/l of nitrogencontaining inhibitor; $t=25^\circ\text{C}$

Рассчитанные из поляризационных диаграмм значения плотностей тока коррозии (табл. 1) свидетельствуют о том, что наибольший эффект от

введения в состав эмульсии СОЖ азотсодержащего ингибитора наблюдается в случае углеродистой стали 20 – здесь удается снизить ток коррозии в 2,5 раза по сравнению с механически обработанными образцами и в 1,6 раза – по сравнению с образцами, обработанными в эмульсии СОЖ без добавок. Для легированных конструкционных сталей коррозионный ток в аналогичных условиях уменьшается в 1,5 и 1,1 раза соответственно.

Подтверждением ингибирующего влияния азотсодержащей добавки на процесс коррозии конструкционных сталей служат результаты гравиметрических исследований (табл. 1). После обработки образцов в СОЖ с добавкой азотсодержащего соединения потери массы сокращаются для сталей 20 и 18Х2Н4ВА почти в 2,5 раза, 30ХГСА – в 1,7 раза, 40ХН2МА – в 1,3 раза по сравнению с образцами после механической обработки.

Таблица 1

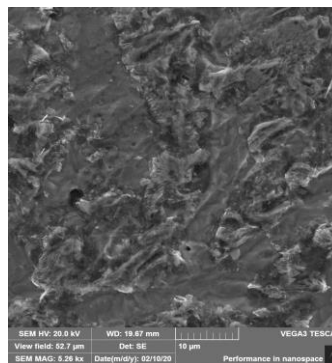
Плотность тока коррозии j_k (числитель) и отрицательный показатель убыли массы K_m^- (знаменатель) конструкционных сталей
Table 1. The corrosion current density j_k (numerator) and a negative mass loss indicator K_m^- (denominator) of the structural steels

Способ обработки	$j_k \cdot 10^5, A/cm^2/K_m^-, \Gamma/(m^2 \cdot ч)$ для сталей разных марок			
	Сталь 20	30ХГСА	40ХН2МА	18Х2Н4ВА
Механическая обработка (МО)	<u>2,53</u> 0,350	<u>3,31</u> 0,352	<u>3,82</u> 0,184	<u>2,24</u> 0,406
МО, выдержка в СОЖ	<u>1,62</u> 0,258	<u>2,09</u> 0,332	<u>2,40</u> 0,147	<u>1,66</u> 0,184
МО, выдержка в СОЖ с добавкой ингибитора	<u>1,01</u> 0,147	<u>1,95</u> 0,203	<u>2,21</u> 0,141	<u>1,38</u> 0,166

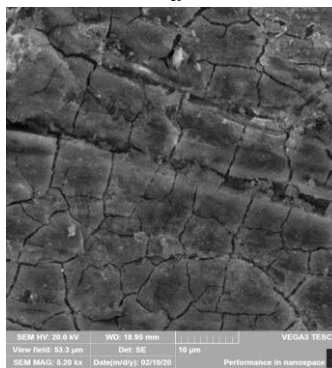
Внешний вид поверхности образцов из исследованных конструкционных сталей после выдержки в коррозионной среде представлен на рис. 2. Наибольшее изменение поверхностного слоя наблюдается на образцах из углеродистой стали 20. На легированных сталях образуется более плотный слой продуктов коррозии, в котором присутствуют микротрещины, особенно заметные на образцах из стали 18Х2Н4ВА.

Результаты химического анализа поверхности исследованных образцов приведены в табл. 2. Как и следовало ожидать, содержание железа в поверхностных слоях после коррозионных испыта-

ний уменьшается, а содержание кислорода – увеличивается. Кроме того, в случае коррозии легированных сталей наблюдается обогащение поверхности хромом в 2-3 раза по сравнению образцами после механической обработки.



а



б

Рис. 2. СЭМ изображения поверхности образцов из стали 20 (а), 18Х2Н4ВА (б) после коррозионных испытаний
 Fig. 2. SEM images of the surface of samples from steels 20 (a), 18Х2Н4ВА (b) after corrosion tests

Таблица 2

Элементный состав поверхности сталей: числитель – исходная поверхность после механической обработки, знаменатель – после выдержки в СОЖ с добавкой ингибитора и в растворе 3 % NaCl, t = 25°C
Table 2. Elemental composition of the steels surface: numerator – initial surface after machining, denominator – after exposure to coolant with the inhibitor addition and in a solution of 3 % NaCl, t = 25°C

Марка стали	Элемент, % масс.						
	Fe	Mn	Si	Cr	Ni	Cl	O
Сталь 20	<u>94,57</u>	<u>0,47</u>	<u>0,52</u>	=	=	=	<u>4,44</u>
	88,06	0,41	0,38	–	–	0,23	10,91
30ХГСА	<u>93,09</u>	<u>1,07</u>	<u>1,17</u>	<u>1,28</u>	=	<u>0,07</u>	<u>3,33</u>
	75,66	1,74	1,10	3,96	–	0,13	17,41
40ХН2МА	<u>92,18</u>	<u>0,95</u>	<u>0,34</u>	<u>1,20</u>	<u>1,32</u>	<u>0,00</u>	<u>3,97</u>
	73,88	1,51	0,29	3,75	1,09	0,51	18,93
18Х2Н4ВА	<u>87,33</u>	<u>0,62</u>	<u>0,32</u>	<u>2,20</u>	<u>3,84</u>	<u>0,11</u>	<u>5,60</u>
	65,66	0,00	0,39	5,57	3,19	0,87	24,32

ВЫВОДЫ

Полученные результаты свидетельствуют о повышении эффективности торможения процесса коррозии конструкционных сталей путем введения добавки азотсодержащего ингибитора в состав эмульсии СОЖ. Подтверждением этому служит увеличение продолжительности межоперационного хранения деталей, изготовленных из исследованных конструкционных сталей токарной обработкой. На деталях, изготовленных с применением эмульсии СОЖ без ингибитора, в ряде случаев наблюдалось появление следов коррозии уже через 2 сут хранения в цеховой атмосфере. После введения в эмульсию СОЖ ингибирующей добавки признаков коррозии не было обнаружено даже после 1 мес хранения.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение НИР. Тема № FZZW-2020-0010.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Жук Н.П.** Курс теории коррозии и защиты металлов. М.: Альянс. 2006. С. 8.
2. **Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В.** Коррозия и защита от коррозии. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2002. С. 9.
3. **Плотникова М.Д., Федотова М.А., Илюшин П.Ю.** Исследование промышленных композиций «СПГК» в качестве ингибиторов коррозии малоуглеродистой стали. *Вестн. Перм. ун-та.* 2017. Т. 7. Вып. 3. С. 279–287. DOI: 10.17072/2223-1838-2017-3-279-287.
4. **Kuznetsov Yu.I.** Progress in the Science of Corrosion Inhibitors. *Internat. J. Corros. Scale Inhibit.* 2015. V. 4. N 1. P. 15-34. DOI: 10.17675/2305-6894-2015-4-1-015-034.
5. **Воробьева В.И., Чигиринец Е.Э., Гальченко Г.Ю., Рослик И.Г.** Исследование эффективности ингибиторов атмосферной коррозии. *Металлург. и горноруд. пром-ть.* 2012. № 2 (274). С. 76-80.
6. **Vazque-Velez E., Gonzalez-Rodriguez J.G., Escalante-Perez M.E., Mendoza J.M., Martinez-Gomez L.** Use of fatty amide and anionic surfactant as corrosion inhibitors for carbon steel in different atmospheres. *Internat. J. Corros. Scale Inhibit.* 2019. V. 8. N 1. P. 122-138. DOI: 10.17675/2305-6894-2019-8-1-11.
7. **Vorobyova V.I., Skiba M.I., Shakun A.S., Nahirniak S.V.** Relationship between the inhibition and antioxidant properties of the plant and biomass wastes extracts – a review. *Internat. J. Corros. Scale Inhibit.* 2019. V. 8. N 2. P. 150-178.
8. **Al-Itawi H.I., Al-Mazaideh G.M., Al-Rawajfeh A.E., Al-Ma'abreh A.M., Marashedh A.** The effect of some green inhibitors on the corrosion rate of Cu, Fe and al metals. *Internat. J. Corros. Scale Inhibit.* 2019. V. 8. N 2. P. 199-211.
9. **Rajendran S., Srinivasan R., Dorothy R., Umasankarwari T., Al-Hashem A.** Green solution to corrosion problems – at a glance // *Internat. J. Corros. Scale Inhibit.* 2019. V. 8. N 3. P. 437-479.
10. **Loto R.T., Loto C.A.** Anti-corrosion properties of the symbiotic effect of Rosmarinus officinalis and trypsin complex on medium carbon steel. *Results Phys.* 2018. 10. P. 99-106.

Исследование проведено с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ФГБОУ ВО «ИГХТУ».

БЛАГОДАРНОСТЬ

Выражаем благодарность за помощь в исследованиях поверхности доценту кафедры технологии неорганических веществ ИГХТУ, к.т.н., Ильину Александру Александровичу.

The work was carried out within the framework of the state assignment for the implementation of research work, topic No.FZZW-2020-0010. The study was carried out using the resources of the Center for Shared Use of Scientific Equipment of the FSBEI HE "ISUCT". We would like to express our gratitude to the associate professor of the Department of Technology of Inorganic Substances at ISUCT, Ph.D., Ilyin Aleksandr Aleksandrovich for help in surface studies.

REFERENCES

1. **Zhuk N.P.** The course of the theory of corrosion and protection of metals. M.: Alians. 2006. P. 8 (in Russian).
2. **Semenova I.V., Florianovich G.M., Horoshilov A.V.** Corrosion and Corrosion Protection. M.: FIZMATLIT. 2002. P. 298 (in Russian).
3. **Plotnikova M.D., Fedotova M.A., Ilyushin P.U.** Inhibitors of industrial compositions SPGK as corrosion inhibitors of mild steel. *Vestn. Perm. Un-ta.* 2017. V. 7. N 3. P. 279-287 (in Russian). DOI: 10.17072/2223-1838-2017-3-279-287.
4. **Kuznetsov Yu.I.** Progress in the Science of Corrosion Inhibitors. *Internat. J. Corros. Scale Inhibit.* 2015. V. 4. N 1. P. 15-34. DOI: 10.17675/2305-6894-2015-4-1-015-034.
5. **Vorobyova V.I., Chigirinets E.E., Galchenko G.Yu., Roslik I.G.** Investigation of the effectiveness of atmospheric corrosion inhibitors. *Metallurg. Gornorud. Prom.* 2012. N 2(274). P. 76-80. (in Russian).
6. **Vazque-Velez E., Gonzalez-Rodriguez J.G., Escalante-Perez M.E., Mendoza J.M., Martinez-Gomez L.** Use of fatty amide and anionic surfactant as corrosion inhibitors for carbon steel in different atmospheres. *Internat. J. Corros. Scale Inhibit.* 2019. V. 8. N 1. P. 122-138. DOI: 10.17675/2305-6894-2019-8-1-11.
7. **Vorobyova V.I., Skiba M.I., Shakun A.S., Nahirniak S.V.** Relationship between the inhibition and antioxidant properties of the plant and biomass wastes extracts – a review. *Internat. J. Corros. Scale Inhibit.* 2019. V. 8. N 2. P. 150-178.
8. **Al-Itawi H.I., Al-Mazaideh G.M., Al-Rawajfeh A.E., Al-Ma'abreh A.M., Marashedh A.** The effect of some green inhibitors on the corrosion rate of Cu, Fe and al metals. *Internat. J. Corros. Scale Inhibit.* 2019. V. 8. N 2. P. 199-211.
9. **Rajendran S., Srinivasan R., Dorothy R., Umasankarwari T., Al-Hashem A.** Green solution to corrosion problems – at a glance // *Internat. J. Corros. Scale Inhibit.* 2019. V. 8. N 3. P. 437-479.
10. **Loto R.T., Loto C.A.** Anti-corrosion properties of the symbiotic effect of Rosmarinus officinalis and trypsin complex on medium carbon steel. *Results Phys.* 2018. 10. P. 99-106.

11. Костяев А.А., Балмасов А.В., Инсаридзе Л.Н. Влияние ингибиторов на коррозию углеродистой стали в растворах пенообразователя. *Росс. хим. журн.* 2014. Т. 58. № 2. С. 15-20.
12. Чиркунова А.А., Чугунов Д.О., Редькина Г.В., Кузнецов Ю.И. О влиянии модификации поверхности стали цинковыми комплексами фосфоновых кислот на эффективность ее пассивации органическими ингибиторами. *Электрохимия.* 2019. Т. 55. № 2. С. 214-221. DOI: 10.1134/S042485701901002X.
13. Рублева Е.Д., Величко Е.В., Данилов Ф.И. Влияние ионов Ca^{2+} и Zn^{2+} на адсорбционные и ингибиторные свойства производных полигексаметиленгуанидина. *Физикохимия пов-ти и защита материалов.* 2017. Т. 53. № 5. С. 556-560. DOI: 10.7868/S0044185617050175.
14. Румянцева Н.П., Балмасов А.В. Влияние ингибитора на коррозионное поведение конструкционных сталей. *Гальванотехника и обработка пов-ти.* 2020. Т. 28. № 1. С. 51-56.
15. Ангал Р. Коррозия и защита от коррозии. Долгопрудный: Интеллект. 2014. С. 180.
16. Кузнецов Ю.И. Органические ингибиторы атмосферной коррозии. *Вестн. Тамбов. ун-та.* 2013. Т. 18. № 5. С. 2126-2131.
17. Кузнецов Ю.И., Казанский Л.П. Физико-химические аспекты защиты металлов ингибиторами коррозии класса азолов. *Усп. химии.* 2008. Т. 77. № 3. С. 227-241.
18. Гайдар С.М., Низамов Р.К., Голубев М.И., Голубев И.Г. Защитная эффективность водорастворимых ингибиторов коррозии. *Вестн. Мордов. ун-та.* 2018. Т. 28. № 3. С. 429-444. DOI: 10.15507/0236-2910.028.201803.429-444.
19. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Князева Л.Г., Шель Н.В., Дорохов А.В., Зарапина И.В. Изучение возможности оценки защитной эффективности летучих ингибиторов методом электрохимической поляризации на примере меди и ИФХАН-114. *Вестн. ТГТУ.* 2018. Т. 24. № 3. С. 482-491. DOI: 10.17277/vestnik.2018.03.pp.482-491.
20. Vighorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Dorokhova A.N., Vighorovich M.V. Suppression of local corrosion of steel, brass and copper with IFKHAN-114 volatile inhibitor. *Internat. J. Corros. Scale Inhibit.* 2019. V. 8. N 1. P. 42-49. DOI: 10.17675/2305-6894-2019-8-1-1.
21. Сизая О.И., Челябинева В.Н., Гуменюк О.Л., Кващук Ю.В. Исследование влияния производных 3,4-дихлор-(2H)-пиридазин-3-она на коррозионную стойкость стали. *Физикохимия пов-ти и защита материалов.* 2015. Т. 51. № 5. С. 555-560. DOI: 10.7868/s0044185615050253.
22. Шенин А.Б., Плотникова М.Д., Рубцов А.Е. Защитные свойства ряда производных тиадиазола в растворах серной кислоты. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 7. С. 123-129. DOI: 10.6060/ivkkt.20196207.5968.
23. Меньшиков И.А., Лукьянова Н.В., Шенин А.Б. Защита стали от коррозии в кислых средах ингибиторами «Солинг» при повышенных температурах. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 4. С. 103-110. DOI: 10.6060/ivkkt20186100.5724.
24. Вигдорович В.И., Дубинская Е.В., Осетров А.Ю., Зарапина И.В. Особенности кинетики электродных реакций на железе, углеродистой стали и меди под тонкими маслянистыми пленками. *Вестн. ТГУ.* 2013. Т. 18. Вып. 5. С. 2153-2159.
11. Kostyaev A.A., Balmasov A.V., Inasaridze L.N. Effect of inhibitors on carbon steel corrosion in foaming solutions. *Russ. J. Gen. Chem.* 2016. V. 86. N 2. P. 429-433
12. Chirkunov A.A., Chugunov D.O., Red'kina G.V., Kuznetsov Yu.I. The influence of steel surface modifying with zinc complexes of phosphonic acids on the efficiency of its passivation by organic inhibitors. *Russ. J. Electrochem.* 2019. V. 55. N 2. P. 115-121.
13. Rublova Y.D., Velichko O.V., Danilov F.I. Effect of Ca^{2+} and Zn^{2+} ions on the adsorption and inhibitory properties of polyhexamethyleneguanidine derivatives. *Protect. Metals Physical Chem. Surf.* 2017. V. 53. N 3. P. 916-919.
14. Rumyantseva N.P., Balmasov A.V. Influence of the inhibitor on corrosion behavior of the structural steels. *Galvanotekhnika Obrabot. Pov.* 2020. V. 28. N 1. P. 51-56 (in Russian).
15. Angal R.D. Principles and Prevention of Corrosion. Dolgoprudnyi: Intellekt. 2010. P. 180 (In Russian).
16. Kuznetsov Yu.I. Organic inhibitors of atmospheric corrosion of metals. *Vestn. Tambov. Un-ta.* 2013. V. 18. N 5. P. 2126-2131 (in Russian).
17. Kuznetsov Yu.I., Kazansky L.P. Physicochemical aspects of metal protection by azoles as corrosion inhibitors. *Russ. Chem. Rev.* 2008. V. 77. N 3. P. 219-232. DOI: 10.1070/RC2008v077n03ABEH003753.
18. Gaidar S.M., Nizamov R.K., Golubev M.I., Golubev I.G. Protective efficiency of water-soluble corrosion inhibitors. *Vestn. Mordov. Un-ta.* 2018. V. 28. N 3. P. 429-444 (in Russian). DOI: 10.15507/0236-2910.028.201803.429-444.
19. Vighorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G., Shel N.V., Dorokhov A.V., Zharapina I.V. Exploring the possibilities of evaluating the protective efficiency of volatile inhibitors by electrochemical polarization using in the example of copper and IFHAN-114. *Vestn. TGTU.* 2018. V. 24. N 3. P. 481-491 (in Russian). DOI: 10.17277/vestnik.2018.03.pp.482-491.
20. Vighorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Dorokhova A.N., Vighorovich M.V. Suppression of local corrosion of steel, brass and copper with IFKHAN-114 volatile inhibitor. *Internat. J. Corros. Scale Inhibit.* 2019. V. 8. N 1. P. 42-49. DOI: 10.17675/2305-6894-2019-8-1-1.
21. Sizaya O.I., Chelyabieva V.N., Gumenyuk O.L., Kvashuk Y.V. A study of the influence of 3,4-dichloro-(2H)-pyridazin-3-one derivatives on corrosion resistance of steel. *Protect. Metals Physical Chem. Surf.* 2015. V. 51. N 5. P. 885-890. DOI: 10.7868/s0044185615050253.
22. Shein A.B., Plotnikova M.D., Rubtsov A.E. Protective properties of a number of thiazazole derivatives in sulfuric acid solutions. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim.* 2019. V. 62. N 7. P. 123-129 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20196207.5968.
23. Menshikov I.A., Lukyanova N.V., Shein A.B. Protection of steel from corrosion in acidic media at elevated temperatures by «Soling» series inhibitors. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 4. P. 103-110 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt20186100.5724.
24. Vighorovich V.I., Dubinskaya E.V., Osetrov A.Yu., Zharapina I.V. Peculiarities of electrode reactions kinetics on iron, carbon steel and copper under thin oil films. *Vestn. TGU.* 2013. V. 18. N 5. P. 2153-2159 (in Russian).

Поступила в редакцию 20.02.2020
Принята к опубликованию 10.08.2020

Received 20.02.2020
Accepted 10.08.2020